

위치 추적기를 사용한 태양광 발전의 전력 변환시스템 특성에 관한 연구

황락훈, 장진혁, 나승권, 김영수, 안익수, 조문택, 송호빈

A Study on Characteristic of Power Conversion System of the Photovoltaic Using a Solar Position Tracker

L. H. Hwang,* J. H. Jang,* S. K. Na,* Y. S. Kim,* I. S. Ahn,** M. T. Cho,** H. B. Song**
 Semyung Univ.* Daewon Science College.**

Abstract - In this paper, I used microprocessor and sensor and designed to improve the efficiency of the photovoltaic system the photovoltaic position tracker device, and compared the normal photovoltaic system of fixed form with the photovoltaic system of solar position tracked form. Moreover, compared the catalogue of solar cell module and the simulation through a mathematics modelling with the solar cell's characteristic interpreting and, composed an power conversion system with boost converter and voltage source inverter. Used the constant voltage control method for maximum power point tracking in boost converter control and, used the SPWM(Sinusoidal Pulse Width Modulation) control method in inverter control.

1. 서 론

태양광 발전 시스템은 사용자에게 항상 필요한 전기를 공급하기 위하여 모듈을 직·병렬로 연결한 태양전지 어레이와 전력 저장용 축전지(storage battery), 전력 조정기(power controller) 및 직·교류 변환장치(inverter)등의 주변장치로 구성된다.[1][6]

태양전지 모듈은 태양전지를 직·병렬로 연결하여 구성하므로 태양 전지 모듈의 등가회로는 태양전지의 등가회로와는 달리 직·병렬 저항의 영향을 많이 받으며, 태양전지간의 특성 차이로 인한 모듈의 출력이 낮게 될 수도 있다. 따라서 태양전지의 정확한 특성해석이 필요하다. 또한, 태양은 시간과 계절에 따라 위치가 항상 변하고 태양 에너지를 직접 전기 에너지로 변환하는 태양전지의 출력은 저밀도 에너지형인 관계로 태양광 위치추적 장치를 사용하여 지속적인 태양추적을 수행한다면 태양광 추적시스템은 이미 적용되고 있는 고정 방식의 태양전지 모듈이 설치된 시스템에 대해 가지는 이점을 생각 할 수 있다.[7]

본 논문에서는 태양광 발전의 효율을 높이기 위하여 센서와 마이크로프로세서를 이용한 태양광 위치추적 장치를 설계하여 고정방식의 태양광 발전과 위치 추적 방식의 태양광 발전에 대하여 비교해 보았으며, 태양전지에 대한 특성 해석과 수학적 모델링을 통한 시뮬레이션을 행하여 태양전지 특성 사양과 비교해 보았다. 또한 전력변환 시스템을 Boost 컨버터와 전압형 인버터로 구성하여 각각에 대하여 실험하였으며, Boost 컨버터 제어에서 최대 전력 점 추적을 위해 일정한 제어법을 사용하였으며 인버터의 제어에서는 SPWM(Sinusoidal Pulse Width Modulation) 제어법을 사용하여 실험해 보았다.

2. 본 론

2.1 태양광 위치추적 장치

태양광 발전을 위해서는 태양전지로부터 출력되는 개방전압과 단락전류가 얼마나 최대 출력전압과 최대 출력전류에 가깝게 출력되도록 설계하느냐에 따라서 태양광 발전 성능이 달라진다는 것을 알 수 있다. 이러한 이유로 태양광 위치추적 장치를 생각하게 되었다. 태양광 발전에서 중요한 요소 중의 하나는 보다 많은 태양광을 집광하는 것으로서 태양광 위치추적 장치를 통한 정확한 태양 위치추적은 태양광 발전의 효율향상을 위하여 요구되는 대단히 중요한 장치이다.[7][11]

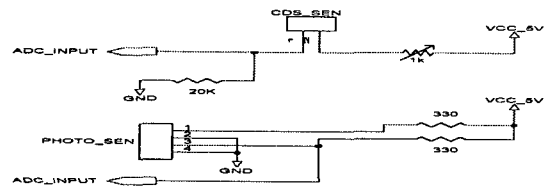
집광을 하기 위한 태양광 위치추적 장치는 일반적으로 추적신호의 생성방식에 따라 태양위치계산에 의해 방위각 및 고도각으로 표시되는 프로그램방식, 태양센서로부터의 입력을 I/O 인터페이스를 통하여 들어오는 센서값을 마이크로프로세서를 사용하여 추적 가능각도를 계산하는 센서방식, 프로그램과 센서를 조합한 혼합방식으로 분류된다.

본 연구에서는 센서와 마이크로프로세서를 사용하여 환경 변화에 대해서도 위치추적이 가능하도록 설계하였다.

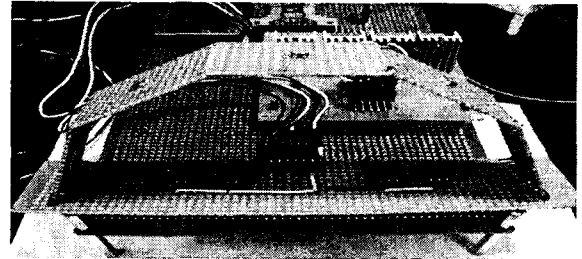
태양광 위치추적 장치에서 마이크로프로세서는 초기 LCD와 ADC를 초기화 시키고, 5개의 센서로부터 Sensing된 값을 A/D 컨버전하

여 LCD에 각각의 값을 표시하고, 각각의 값 중 센서에 따른 최대 또는 최소값을 계산하며 Sensing의 계산된 값에 따라서 스텝모터의 좌우방향으로 회전 및 정지하게 프로그램 하였다.

그림 1은 CDS 또는 Photo Sensor로 구성하며 5개의 센서가 각을 이루어 각각의 Sensing된 값을 생성함으로써 현재 태양광의 위치를 파악한다.

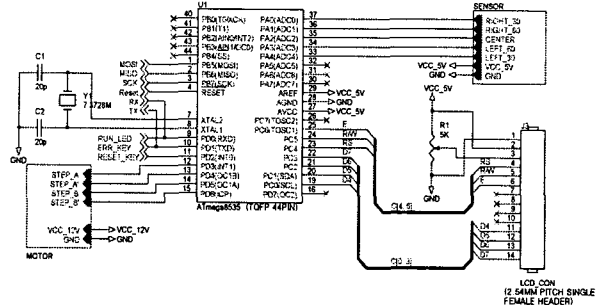


(a) 센서부 회로도



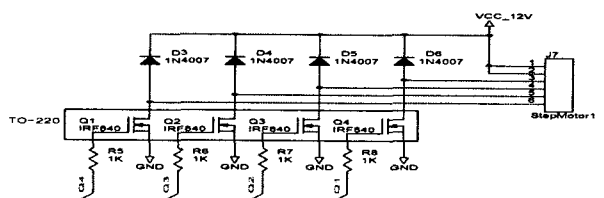
(b) 센서부 모형사진

<그림 1> 태양광 위치 추적장치 센서부



<그림 2> 태양광 위치추적 장치의 마이크로프로세서부

그림 2은 ATmega8535의 A/D 컨버터를 사용하여 센서부에서 값을 읽어 들여 가장 큰 값 또는 작은 값을 계산하고 이를 다시 LCD 화면에 표시하면서 계산된 값에 따라서 좌우로 이동하여 추적 가능각도에 수직이 되도록 모터를 제어하게 하였다. [2][3]

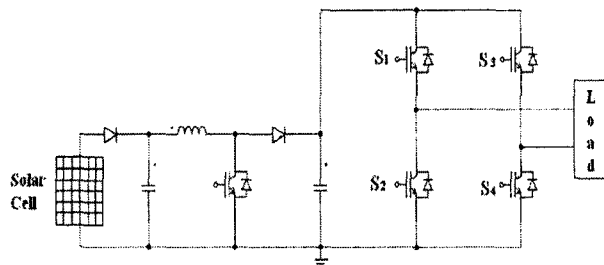


<그림 3> 모터 및 모터제어부

그림 3는 모터 및 모터제어부로서 모터는 스텝모터, 기어는 체인 기어를 사용하여 최대 동력 전달을 할 수 있게 하였다. 체인기어의 기어비는 4:1인 기어를 사용하였다.[5]

2.2 전력변환 장치

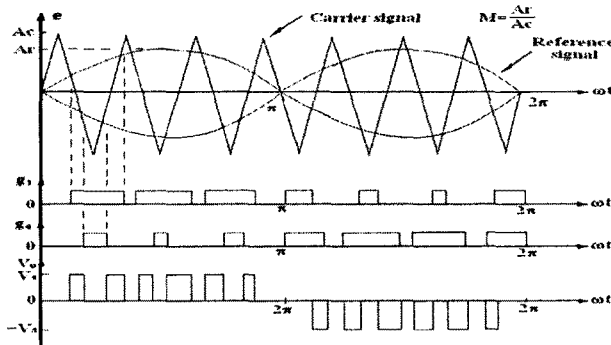
전력변환기는 그림 4와 같이 Boost 컨버터와 단상 하프 브리지 방식의 인버터를 사용하여 구성하였다. Boost 컨버터는 태양전지 셀의 최대전력이 DC 커패시터 측으로 전달 되도록 인덕터 전류를 제어 하여 Vcell이 최대 전력점에서 유지되도록 하는 일정전압 제어를 하였다. 또한 인버터는 정현 펄스폭 변조(SPWM : Sinusoidal Phase Width Modulation)방식을 사용하여 Vdc로부터 크기와 주파수 가변 이 용이하게 구성하였다.[1][6][8][9]



〈그림 4〉 전력변환기 구성

정현펄스폭변조는 크기 A_c 의 삼각반송파와 크기 A_r 의 정현기준 신호를 비교함에 의해서 얻어지고 기준신호의 주파수는 인버터 출력주파수를 결정하며, 이것의 피크크기 A_r 은 변조지수 M 과 실효출력전압 V_o 를 제어한다. 반주기당 펄스의 수는 반송주파수에 의존하며 두개의 게이트가 동시에 동동할 수 없다는 제약 하에서 순시출력전압을 그림 5에 나타낸다.[4]

변조지수 M 을 0부터 1까지 가변함으로써 실효출력전압을 0부터 V_o 까지 가변 할 수 있고, 각 펄스의 영역이 게이트 신호상의 오프 주기의 인접 중심점간의 정현파에서의 영역과 근사적으로 대응한다는 것을 관측할 수 있다.



〈그림 5〉 정현 펄스폭 변조

2.2.1 태양전지 어레이의 모델링

태양전지의 모델링을 이용하여 구현한 PSIM 모델을 제시하였고, 시뮬레이션 결과를 통하여 유효성을 보였다.[6]-[11] 태양전지 어레이의 I-V 특성곡선을 얻기 위해 기본수식은 다음 식 (1)-(4)과 같이 표현된다.

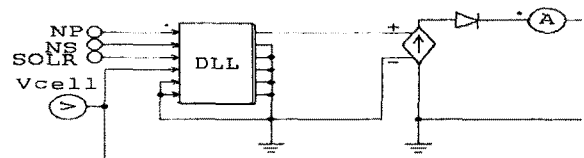
$$I_{ph} = [I_{sc} g_N + I_t (T_o - T_r)] N_p \quad (1)$$

$$I_D = [I_o \cdot e^{\frac{qV}{AKTN}} - 1] N_p \quad (2)$$

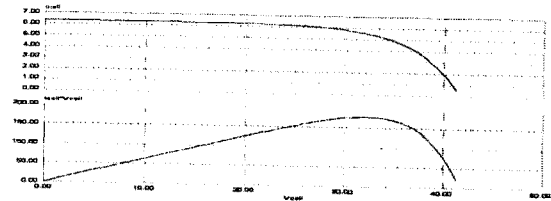
$$I_o = I_{or} \left[\frac{T_o}{T_r} \right]^{\frac{qE}{Bk}} \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \quad (3)$$

$$g_N = SOLR/100 \quad (4)$$

그림 6은 태양전지의 어레이의 PSIM 모델을 나타내며 그림 7은 태양전지의 어레이 전압Vcell과 Icell의 특성곡선을 보이고 있다.



〈그림 6〉 PSIM모델



〈그림 7〉 태양전지 어레이의 I-V, P-V 특성곡선

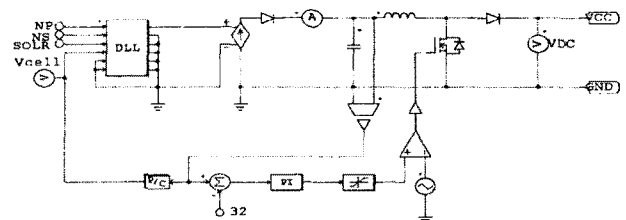
〈표 1〉 태양전지 사양과 수학적 모델링 비교

Model	PSEM 50	Simulation
Maximum Power	50W	45W
Open circuit voltage	21V(±5%)	20.85V
Short circuit current	3.17A(±5%)	3.15A
Rated voltage	17.1V(±5%)	16.15V
Rated current	2.92A(±5%)	2.75A

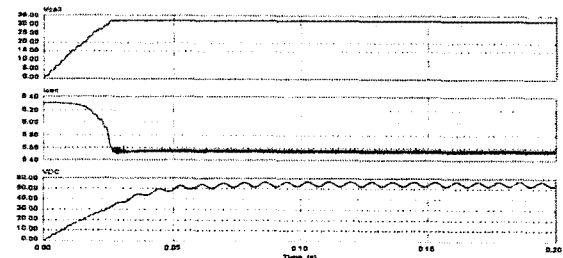
표 1은 본 실험에서 사용된 태양전지 모듈의 특성 사양과 수학적 모델링을 시뮬레이션 한 것을 나타내며 특성 사양과 시뮬레이션 값을 비교하였을 때 5%이하의 오차가 나는 것을 알 수 있다. 이는 근사적으로 시뮬레이션이 이루어 졌음을 알 수 있다.

2.2.2 컨버터의 시뮬레이션

본 절에서는 입력으로 NP(병렬연결 수)와 NS(직렬연결 수)는 각각 2로 하였으며, SOLR(단위일사량)는 100으로 하였다. 그리고 태양광 발전 특성상 최대 출력점 추적을 위해 일정전압 제어법을 사용하였다. 태양전지와 전력 변환장치 사이에 커패시터를 달아 태양전지의 출력전압을 검출하고 그림 7의 P-V, I-V곡선을 참고로 하여 최대 출력점 전압 32V를 빼주게 되면 태양전지에서 출력되는 리플만 검출되고 PI 제어기와 리미터를 거친 파형에 삼각파를 이용하여 변조지수에 의한 PWM 변조파를 게이트 신호로 넣어 줌으로써 최대전력 점을 추종하게 하였다.



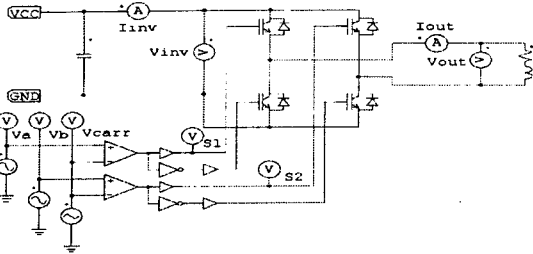
〈그림 8〉 Boost 컨버터 시뮬레이션 회로



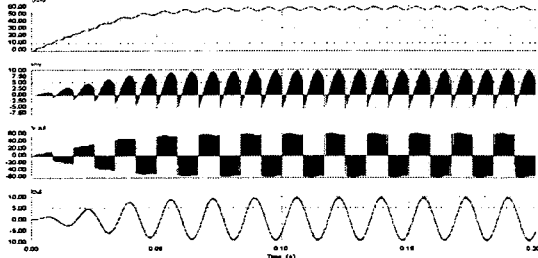
〈그림 9〉 Boost 컨버터 시뮬레이션 파형

2.2.3 인버터 시뮬레이션

그림 10는 Boost 컨버터의 출력을 인버터의 입력으로 하여 교류로 변환하는 회로를 나타내고 있다. 인버터 제어방식으로 사용한 SPWM방식의 회로를 나타내낸다.



<그림 10>인버터 시뮬레이션 회로

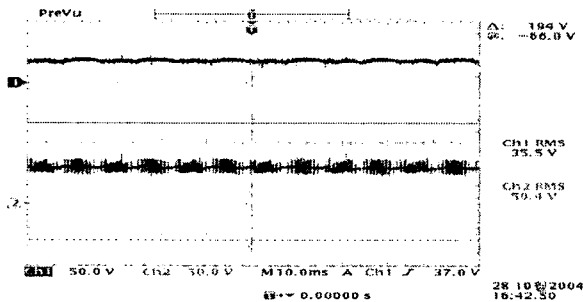


<그림 11> 인버터 입출력 파형

< 표 2 > 시뮬레이션에 사용한 파라미터

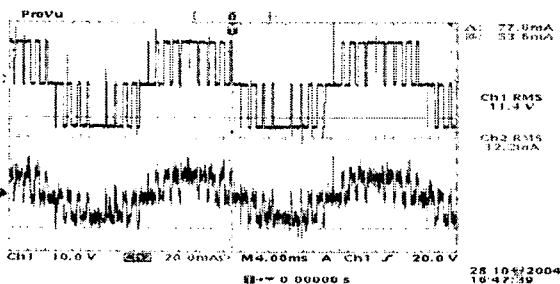
항 목	값	
입력 커패시터	2200uF	
승압용 리액터	0.3mH	
DC Link 커패시터	2200uF	
Load	저 항	3.87Ω
	리액터	7.7mH

그림 11은 인버터 입출력 파형으로 출력 전압과 전류가 동상으로 출력되는 것을 알 수 있으며, 또한 입력 전압과 같은 크기의 출력전압이 나오고 있음을 알 수 있다. 표 2는 시뮬레이션에 사용된 시스템 파라메타를 나타낸다.



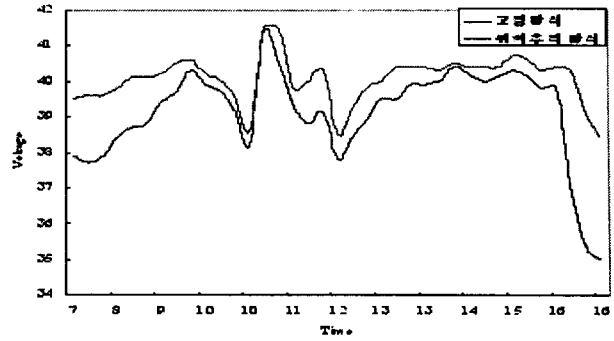
<그림 12> Boost 컨버터의 입출력 파형

그림 12은 태양광 어레이에서 나온 전압을 Boost 컨버터를 이용하여 승압한 파형을 나타낸다. 실제 실험에서는 35.5V 입력에 59.4V의 출력을 보였으며 167%의 승압률을 보이고 있다. 이는 시뮬레이션에서와 거의 동일한 승압률을 보이고 있음을 알 수 있다.



<그림 13> 인버터 출력 전압, 전류 파형

그림 13는 Boost 컨버터에서 출력되는 전력을 인버터의 입력으로 하여 부하(10)를 연결하였을 때 출력되는 파형을 나타낸다. 시뮬레



<그림 14> 시간에 따른 태양광 어레이의 전압측정

이전에서는 Carrier인 정현파 한주기당 Reference인 삼각파를 20회를 주었으나 본 실험에서는 10회만 주어 실험하였으며, 오픈루프방식으로 방식으로 실험하였다. 또한 인버터에서 전력변환 과정에서의 손실 등으로 인하여 그림에서 보는바와 같이 전압과 전류에 잡음성분이 많은 것을 볼 수 있다. 하지만 단위역률에 대하여 동상으로 나타남을 알 수 있다.

그림 14는 고정 방식과 위치추적 방식의 태양광 발전으로 각각 나누어 설치한 다음 시간에 따른 태양광 어레이의 출력을 8시부터 5시까지 15분 간격으로 측정을 하여 그래프로 나타낸 것이다. 8시-10시, 4시 이후에 태양광 위치추적 방식이 고정 방식에 비해 더 많은 전압을 출력하고 있음을 알 수 있으며 11시와 12시만 사이에 환경적인 요인에 의해 출력이 변화가 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 태양광 발전의 효율을 높이기 위하여 태양광 위치추적 장치를 구성하였으며, 태양전지 수학적 모델링 한 것의 시뮬레이션 결과 태양전지 특성 사양과 비교하였을 때 5%의 오차를 보였고 Boot 컨버터 승압율은 167%로 시뮬레이션한 것과 근사적으로 나타났고, 인버터는 시뮬레이션 한 것과 근사적 파형을 얻었으나 손실이 큰 것으로 나타났다.

일반적인 고정방식의 태양광 발전과 위치추적 장치를 설치한 위치추적 방식의 태양광 발전에 대한 비교에서 태양광 위치추적 장치가 양호한 위치추적을 보이고 있으며 고정방식에 비해 위치추적 방식이 더욱 많은 집광을 하여 5%의 차이가 있음을 알 수 있었다.

본 연구는 실험 여건상 소규모로 제작되어 실험하였으며 실험을 통하여 태양전지 특성과 전력변환과정의 각각에 대하여 고찰해 볼 수 있었다. 아울러 태양광 발전시스템의 전력변환과정에서 손실을 줄이며 효율을 높이기 위하여 보다 나은 방식의 최대 전력점 추종 제어(MPPT)가 연구되어야 하며, 저 손실 전력 변환기의 구성이 향후 과제로 사료된다.

[참고 문헌]

- [1] L.H.Hwang, "A Study on Synchronized AC Power Source Voltage Regulator of Voltage Fed Inverter using a Photovoltaic effect" IEEK, Vol. 38, No. 8, 1998.
- [2] Y.S.Song, S.J.Bae "Avr Bible" bogdoo, PP.471-484, 2002.
- [3] 박성렬, 이보희, "C언어로 배우는 AVR" 다다미디어, PP.123-189, 2001.
- [4] Muhammad H. Rashed, "Power Electronics Circuit, Devices and Applications" Prentice Hall, PP.239-250.
- [5] Takashi Kenjo, Akira Sugawara "Stepping Motors and Their Microprocessor Controls" 일진사, PP.230-266.
- [6] 정영석, 유권중, 정명웅, 최재호, 최주엽, "변압기 없는 계통연계형 PV PCS고찰" 전력전자학술대회 논문집 PP. 551-554, 2002.
- [7] 이양규, 강신영, 오명복, 손경중, 김광현, "태양광 위치추적기를 이용한 태양광 가로등 연구" 전력전자학술대회 논문집 PP. 559-562, 2002.
- [8] Geoff Walker, "Evaluating MPPT convertor topologies using a matlab pv model"
- [9] 박용성, 유권중, 최재호, 박가우, "PV용 PCS의 MPPT 제어 포지션 고찰" 대한전기학회 논문집, 2003
- [10] 정영석, 유권중, 소정훈, 최주엽, 최재호, "태양광발전용 PCS의 MPPT 제어알고리즘 고찰" 대한전기학회 논문집, 2003
- [11] T. Kojima, K.Matsui, M. Hasegawa, I. Yamamoto, H. Mori, "A simple Maximum Power Tracking circuit in Utility-interactive Photovoltaic Power Conditioner" ICEE, PP.531-536, 2004